



Abführung von Feinsedimenten über Triebwassersysteme als nachhaltige Massnahme gegen Stauraumverlandung

J. Jenzer Althaus, G. De Cesare, A. Schleiss

1 Einleitung

Die Entlandung von Stauräumen über Triebwassersysteme ist eine viel versprechende Möglichkeit, das Problem des Verlandungsprozesses durch Feinsedimente in Stauräumen zu bewältigen. Um die Sedimente in die Wasserfassung einziehen zu können, müssen diese vor dem Einlauf in Suspension sein. Dazu wird eine Aufwärtsströmung benötigt, welche die Sedimente aufwirbelt und in Schwebe bringt und hält. Die vorliegende Forschungsstudie soll machbare und wirtschaftlich attraktive Lösungen identifizieren, welche die Suspension der Feinsedimente mittels minimaler Fremdenergie ermöglicht. Dabei wird infolge der Abrasion von Turbinen und Leitapparaten sowie aufgrund ökologischer Aspekte im Unterwasser der Frage nach der maximal tolerierten Sedimentkonzentration besonderes Augenmerk geschenkt. Die Forschungsstudie umfasst sowohl hydraulische Modellversuche als auch numerische Simulationen.

In natürlichen Flussläufen sind Sedimente- und Austrag meistens annähernd ausgeglichen. Durch eine Talsperre wird dieses Gleichgewicht stark beeinträchtigt, da ein Stauraum mit sehr kleinen Fließgeschwindigkeiten und hohem Sedimentrückhalt geschaffen wird. Die Kontinuität des Sedimenttransportes wird unterbrochen, und die Sedimente setzen sich im Speicher ab (Oehy, 2003). Dadurch wird die Speicherkapazität sukzessive verringert, und der Speicher kann langfristig oft nur mit reduziertem Nutzen betrieben werden. Eine kleinere Speicherkapazität verringert oder verunmöglicht gar die Flussregulierung und infolgedessen auch die Wasser- und Energieversorgung sowie auch den Hochwasserrückhalt (Graf, 1984; ICOLD, 1989). Der Verlandungsprozess kann je nach erreichter Ablagerungshöhe die Wasserfassungen beeinträchtigen und sogar zur Verstopfung der Auslassorgane führen. Ein durch Sedimentüberlagerung nicht funktionsfähiger Grundablass ist zudem ein schwerwiegendes Sicherheitsproblem. Ursache dafür sind in alpinen Speichern oft die Trübestrome, welche regelmässig Sedimente bis zur Talsperre vor die Auslassorgane transportieren (De Cesare, 1998; Oehy, 2003).

Gegen das Verlandungsproblem kommen bis heute mehrere Methoden zur Anwendung (Schleiss und Oehy, 2002; Oehy and Schleiss, 2007), wovon viele jedoch nicht als nachhaltig betrachtet werden können.

2 Methoden zur Abführung von Feindsedimenten

Die mittlere jährliche Verlandungsrate von allen Stauhaltungen weltweit wird auf etwa 1 bis 2 % der Staukapazität geschätzt (Jacobsen, 1999), während die jährliche Zunahme von Stauvolumen infolge Neubauten bei knapp 1 % liegt (Oehy, 2003). Folglich verlangt das weltweite Problem der Stauraumverlandung eine nachhaltige Lösung. Unter Berücksichtigung der unterbrochenen Kontinuität des Sedimenttransports infolge der Talsperre wird diese am effizientesten mit einer annähernden Wiederherstellung des Sedimentgleichgewichts erreicht. Dazu werden die Feinsedimente regelmässig zu den Betriebszeiten des Kraftwerks abturbiniert und ins Unterwasser geleitet. Dieses Verfahren sollte keine zusätzlichen Wasser- und Energieproduktionsverluste nach sich ziehen.

Um eine gewünschte Sedimentkonzentration im Triebwasser garantieren zu können, müssen die Sedimente entweder gezielt der Wasserentnahme zugeführt werden oder vor der Wasserentnahme in Schwebe sein. Die gezielte Zufuhr kann mechanisch mittels Saugbagger und Airlift erfolgen (Morris and Fan, 1997; Hotchkiss and Huang, 1995 und 1996; Huwyler, 2002). Die dauernde Suspension der Feinsedimente kann mittels Zirkulationsströmungen im Stauraum erzielt werden, welche die Sedimente am Absetzungsprozess hindern. Gefragt sind wirtschaftlich interessante und nachhaltige Methoden, welche auch die Umweltaspekte berücksichtigen. Der Energieaufwand soll minimal bleiben, und die Investition soll bis Konzessionsende der Anlage amortisierbar sein. Feinsedimentzu- und -abfuhr sollten im Gleichgewicht sein, Das heisst, dass im Idealfall 80 - 90 % der gesamten Feststofffracht (Alam, 1999; Sinniger et al., 1999) abturbiniert werden sollte.

Eine aufsteigende Rotationsströmung kann grundsätzlich auf verschiedene Arten erzeugt werden:

- Mechanische Mixer mit starker Strömungswirkung,
- Wasserstrahlmischer,
- Luftblasenschleier,
- Druckkolben,
- Dichteströmung.

2.1 Mechanische Mixer

Es gibt verschiedene Typen von mechanischen Mixern, die je nach Anwendung unterschiedliche Turbulenzen und Geschwindigkeitsfelder erzeugen. Einige davon könnten sich für eine gezielte Aufwärtsströmung als günstig erweisen. Ihre Montage, der Unterhalt und die Energiezufuhr sind allerdings Aspekte, welche differenzierte Lösungen erfordern. Mixer werden in Australien bereits eingesetzt, um die Wasserqualität in den Wasserentnahmen zu verbessern. Hierzu werden die Mixer im Epilimnion installiert und der See wird lokal destratifiziert. Robinson (1981) hat die Resuspension von Sedimenten aufgrund der am Seegrund aufprallenden Mixerjets und das Mitreissen von Sedimenten in die Wasserschichtung beobachtet.

2.2 Wasserstrahlmischer

Die Energie von Beileitungen aus benachbarten Einzugsgebieten kann verwendet werden, um Wasserstrahlen in der Nähe des Stauseegrundes zu erzeugen, welche die Feinsedimente in Schwebelage halten. Dabei werden die Druckstrahlen gezielt eingesetzt, um eine aufsteigende Zirkulationsströmung zu bewirken. Bei dieser Methode wird bei einer Zuleitung mit ausreichendem Druckgefälle und genügend grosser Abflussmenge keine Fremdenergie benötigt, was aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht interessant ist.

Durchmischen beziehungsweise Mixen ist eine der meist gebrauchten Arbeitsgänge in der chemischen Industrie. Neben mechanischen Propellermixern werden vielfach auch Flüssigkeitsstrahlmischer eingesetzt. Wasewar (2006) gibt eine umfassende Übersicht über die Forschung in diesem Bereich.

Zwischen den Zielsetzungen der vorliegenden Studie und denjenigen der chemischen Industrie gibt es jedoch grundlegende Unterschiede:

- Chemieingenieure streben eine möglichst homogene Mischung im ganzen Behälter an, während in der vorliegenden Studie nur örtlich bei der Wasserschichtung eine erhöhte Sedimentkonzentration mit oberem Grenzwert angestrebt wird.
- Bei einer Homogenisierung im ganzen Behälter begrenzen die Behälterwände die Zirkulation. In der vorliegenden Problemstellung bildet aufgrund der länglichen Stauseeform das Wasservolumen im hinteren Teil des Stausees die Randbedingung.
- Im Chemieingenieurwesen ist der wichtigste Parameter die Mixzeit. Das Ziel ist eine gleichmässige Durchmischung in kürzester Zeit. In der Verlandungsproblematik sollen die Feinsedimente über längere Zeit hinweg in Schwebelage gehalten werden.

2.3 Blasenschleier

Bei ungenügenden Abflussmengen oder Fallhöhen der Beileitungen kann die Aufwärtsbewegung mittels Blasenschleier unterstützt werden. Ein stetiger Luftblasenschleier löst eine Aufwärtsströmung aus, auch Airlift genannt, welche das umliegende Wasser gegen die Wasseroberfläche zieht. Die feinen Sedimente werden dabei auch mitgerissen. Das Erzeugen von Blasenschleiern mittels Druckluft benötigt Fremdenergie.

2.4 Druckkolben

Druckkolben werden in dieser Studie nicht näher untersucht, da eine für die Verlandungsproblematik erforderliche Grossanwendung kaum machbar ist.

2.5 Dichteströmung

Falls das Wasser im Bereich nahe der Wasserentnahme und dem Seegrund genügend erwärmt werden könnte, würde sich eine Dichteströmung in vertikaler Richtung bilden, die je nach vorhandenem Auftrieb auch Sedimente mitreissen könnte. Falls Sonnenenergie verwendet werden könnte, wäre die Methode auch nachhaltig. Allerdings sind auch bei einer lokalen Erwärmung im Bereich der Staumauer bedeutende Energiemengen erforderlich, welche bei alpinen Speichern kaum aus Sonnenenergie erhalten werden könnte.

Die vorliegende Forschungsstudie hat zum Ziel, die Möglichkeiten der Wasserstrahlmischer zu untersuchen und deren Anwendung im Hinblick auf das Abführen der Feinsedimente durch die Triebwasserleitung zu optimieren.

3 Zulässige Sedimentkonzentration

3.1 Randbedingungen und Kriterien

In Abhängigkeit des Einzugsgebiets kann die Menge an Feinsedimenten sehr gross sein. Aus ökologischer und betrieblicher Sicht muss ein oberer Grenzwert der Sedimentkonzentration im Triebwassersystem definiert werden.

Es wurden drei saisonale Schweizer Stauseen (Luzzzone, Grimsel, Mauvoisin) untersucht, die grundsätzlich einmal jährlich gefüllt und geleert werden. Unter der Annahme, dass alle während eines Jahres zugeführten Feinsedimente in einer konstanten Konzentration abgeführt werden, bewegen sich die Konzentrationen im Bereich von 900 bis maximal 2000 mg/l.

Grundsätzlich muss die Sedimentkonzentration aus folgenden Gründen begrenzt werden (Schleiss et al., 1996):

- Verwendung des aus dem Stausee turbinieren Wassers für die Bewässerung,
- Transportkapazität der Triebwasserleitungen resp. Absatzgefahr der Feinsedimente,
- Verstopfungsgefahr von Filteranlagen für Kühl- und Hydrauliksysteme in Kraftwerkszentralen,
- Beeinträchtigung der Gewässerökologie im Unterwasser,
- Abrasionsgefahr von Turbinen und Kontrollorganen.

Die zwei letzten werden in der Folge näher betrachtet.

3.2 Ökosystem im Unterwasser

Gemäss Eckholm (zitiert von Walling, 1997) ist der anthropogen verursachte Sedimenteintrag in die Gewässer eine der Hauptursachen der Wasserverschmutzung. Hohe Konzentrationen haben physikalische, chemische und biologische Auswirkungen. Fischarten reagieren unterschiedlich auf die Belastung, ebenso die Wirbellosen und die Wasserpflanzen. Es gibt jedoch kaum Studien, welche die Auswirkungen auf die gesamte Biozönose untersucht haben (Ryan, 1991).

Zurzeit gibt es in der Schweiz keine allgemein gültigen Vorschriften bezüglich zulässiger Sedimentkonzentration. Bei kurzen Stauraumspülungen werden in Gewässern ausnahmsweise 5'000 bis 10'000 mg/l Trockengewicht toleriert (Staub, 2000). Der Kanton Wallis z.B. gibt für Spülungen maximale spezifische Konzentrationswerte in Funktion der Zeit vor (Raboud, 2005). Grenzwerte für längere, erhöhte Konzentrationen von Feinsedimenten gibt es nicht.

Gemäss der U.S. Environmental Protection Agency und der EAWAG (Bucher, 2002) machen konstant hohe Sedimentkonzentrationen die aquatischen Lebewesen anfälliger gegenüber Infektionen und Krankheiten. Die Stärke der Auswirkungen hängt zusätzlich zur Sedimentkonzentration von folgenden Parametern ab: Aussetzungsdauer, Korngrösse, aktuelle und individuelle Alters- und Entwicklungsstufe, eventuell Temperatur, physikalische und chemische Charakteristika der Partikel, Giftstoffe, Akklimatisierungsfähigkeit, andere Stressfaktoren und die Interaktion dieser Faktoren. Bucher (2002) und Griffiths und Walton (1978) schliessen aufgrund mehrerer Studien auf eine kritische dauernd vorhandene Sedimentkonzentration für Fische von zwischen 80 und 100 mg/l für permanente Aussetzung. Im Einzelfall und insbesondere kurzzeitig können höhere Werte toleriert werden.

Das turbinierter Wasser wird direkt nach dem Kraftwerk in einen Vorfluter zurückgeführt. Dort wird das Wasser verdünnt und die Konzentration sofort vermindert. Dies bedeutet, dass die turbinierter Konzentration je nach Abflussmenge im Unterwasser und der Turbinierdauer in Anbetracht der Fische höher als die erwähnten Grenzwerte sein darf.

Im Sommerhalbjahr sind sowohl die natürlichen Schwebstoffkonzentrationen als auch die Abflüsse oft viel höher als im Winterhalbjahr. Deshalb ist es sinnvoll, die Sedimentabführung hauptsächlich während der Sommermonate durchzuführen, und womöglich bei Hochwasser- und Regenperioden die Konzentration beim Einzug in die Fassung zu erhöhen. Die Sommerperiode bietet sich auch dadurch an, als dass die Beileitungen bedeutend mehr Wasser führen als im Winter und dadurch ein höherer Impuls bei den Wasserstrahlen erreicht werden kann.

3.3 Abrasion

Abrasion bei Turbinen und Leitapparaten ist ein ernsthaftes Problem, da der Wirkungsgrad reduziert wird und die Unterhaltskosten ansteigen (Varma et al., 2000; Krause und Grein, 1993). Die Sedimentkonzentration, die Mineralienzusammensetzung, die Partikelgrösse und deren Form sowie die kinetische Energie beim Aufprall sind im Abrasionsprozess die wichtigsten Parameter. Je härter das Mineral (Quarzgehalt), je gröber das Partikel und je höher die Aufprallgeschwindigkeit ist, desto grösser ist der zu erwartende Abrasionsschaden. Die Turbinenhersteller entwickeln zunehmend bessere Schutzbeläge und Stahlsorten, welche der Abrasion immer länger widerstehen können (Huwiler, 2002). Jeder Turbinenhersteller verfügt über eigene Kriterien für die Definition der zulässigen Sedimentkonzentration ohne zusätzliche Reparaturen durchführen zu müssen. Diese sind aber nicht öffentlich zugänglich. Das (2005) gibt Grenzwerte für Indien (hoher Quarzgehalt) in Abhängigkeit der Fallhöhe: für kleine und mittlere Fallhöhen (bis zu 150 m) sind dies ca. 200 mg/l, für grosse Fallhöhen (grösser als 150 m) legt er ca. 150 mg/l fest.

4 Experimentelle Untersuchungen

Ziel ist es, den Bereich vor der Staumauer und der Triebwasserfassung dauernd von Feinsedimenten frei zu halten, welche periodisch während Hochwassern durch Trübestrome antransportiert werden. Dazu wird Wasser aus den Beileitungen in eine Druckleitung eingespeist, welche in einem Düsensystem endet. Dadurch wird eine Konfiguration von Wasserstrahlen erzeugt, welche den Stauraumbereich durch Aufwärtsströmungen mischen kann (Abb. 1).

Im hydraulischen Modell wird die Wirkung von Wasserstrahlen auf die Resuspension und das In-Schwebe-Halten der Feinsedimente untersucht. Da angenommen wird, dass der Einfluss von durch Wasserstrahlen erzeugten Zirkulationsströmungen lokal eingeschränkt ist, bildet die Versuchsanlage nur den vordersten Teil eines Stausees ab. Die Versuchsanlage besteht aus einem quaderförmigen Becken mit einer Grundfläche von $1.97 \times 4 \text{ m}^2$ und einer Höhe von 1.5 m (Abb. 2). Die vordere Wand verkörpert die Staumauer. Die beiden seitlichen vertikalen Wände begrenzen den Stauraum analog zu den Talflanken. Im Falle einer örtlich beschränkten Zirkulation vor der Talsperre bildet das Wasservolumen im hinteren Beckenteil eine obere Randbedingung wie sie in natura ebenfalls vorhanden ist. Die Wasserfassungen können auf verschiedenen Höhenlagen angeordnet werden. Die Düsenwinkel der Wasserstrahlen können im Modell variiert werden. Für die Wasserstrahlen wird Leitungswasser ohne Sedimentbeigabe verwendet. Die Versuchsanlage wird in einem Modellmassstab von ca. 1:50 abgebildet.

Die Sedimente werden mit gemahlenen Baumnussschalen nachgebildet. Diese sind nahezu kohäsionslos, leicht (spezifisches Trockengewicht von $\rho_s = 1480 \text{ kg/m}^3$) und homogen. Die Absetzgeschwindigkeit beträgt ca. 0.8 mm/s in Wasser bei 15°C . Die Partikel haben einen mittleren Durchmesser von $d_m = 0.06 \text{ mm}$. Dies erlaubt Feinsedimente nahezu naturgetreu im Experiment nachzubilden.

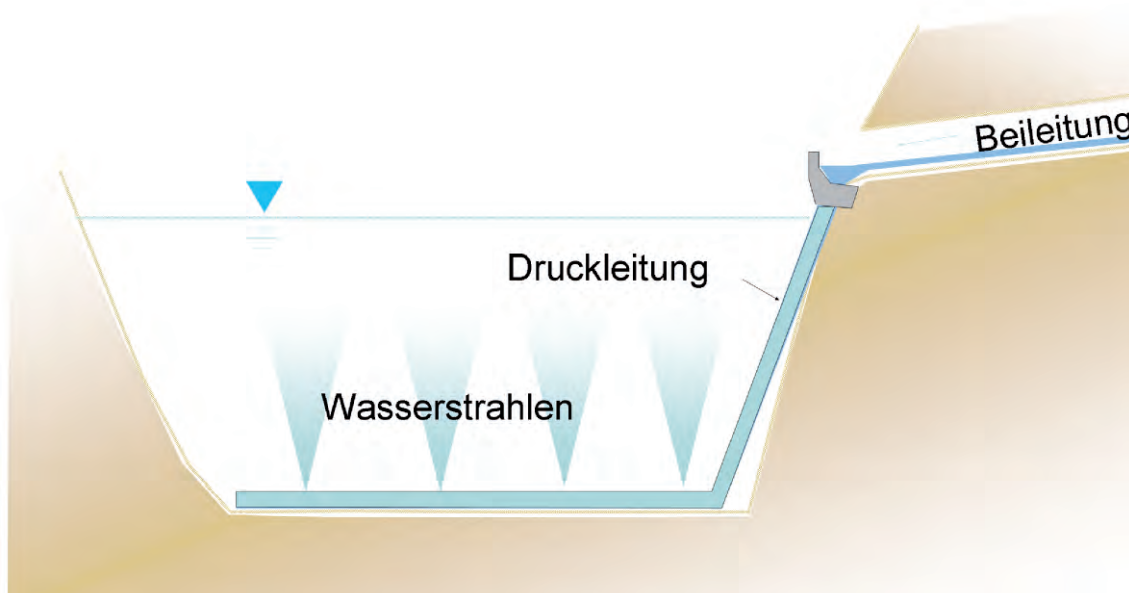


Abb. 1: Schemaskizze der mit dem Wasser der Beileitungen gespiesenen Wasserstrahlen.

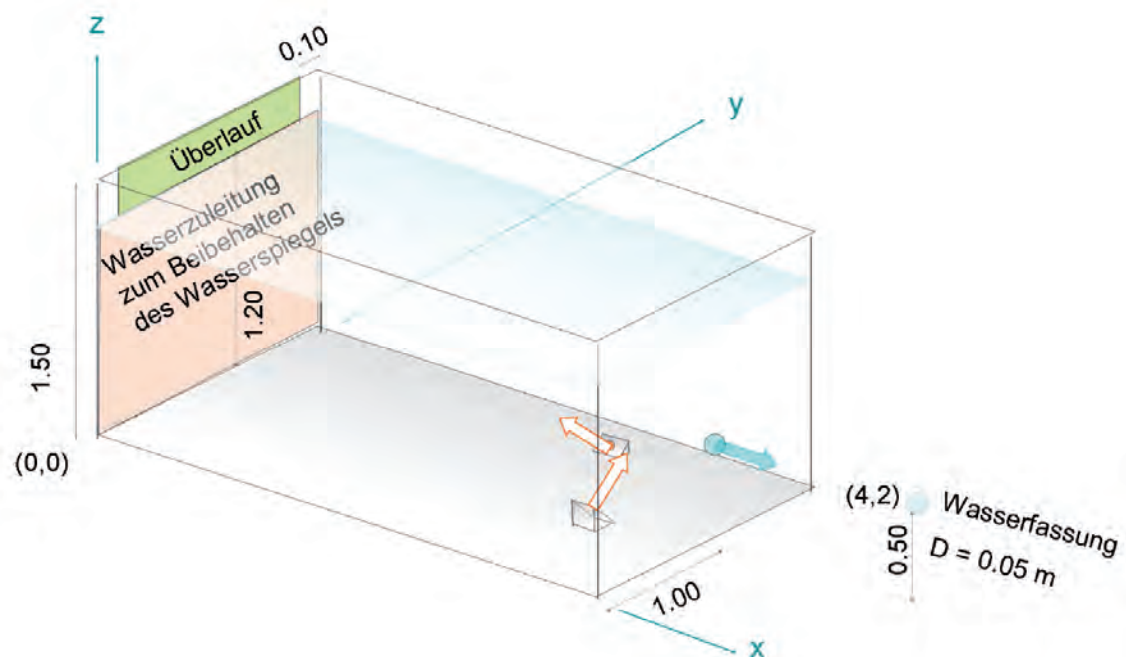


Abb. 2: Schematische Darstellung des hydraulischen Modells mit einer von vielen möglichen Anordnungen der Wasserstrahlen, um eine Durchmischung und Suspension der Feinsedimente vor der Wasserfassung zu bewirken.

Zu Beginn eines Versuchs werden die Sedimente mit einer Druckluftverwirbelung in eine nahezu homogene Suspensionsmischung gebracht. Die homogene Mischung simuliert die von den Trübeströmen gebildete trübe Wassermasse im Bereich der Talsperre. Anschliessend werden die von der Beileitung gespiesenen Wasserstrahlen aktiviert und die Triebwasserfassung geöffnet. Fortan werden Trübungs- und Geschwindigkeitsmessungen in der Nähe der Wasserentnahme gemacht sowie die Sedimentkonzentration in der Wasserentnahme gemessen, bis letztere einen stationären Zustand erreicht hat.

Mit den systematischen Versuchen werden folgende Parameter studiert:

- Strahlgeschwindigkeit,
- Strahldurchmesser,
- Strahlimpuls,
- Reynoldszahl des Strahls.

Der Jetdurchmesser wird im Modellmassstab mit 3, 6 und 8 mm simuliert, die Geschwindigkeiten variieren zwischen 1.4 und 7.1 m/s (Modellmassstab). Die Wassertemperatur im Labor beträgt ungefähr 15°C.

5 Numerische Simulation

Die numerischen Simulationen werden mit dem CFD (Computational Fluid Dynamics) Software Package von ANSYS durchgeführt. Für die Kalibrierung des Modells wird derselbe Behälter der Versuchsanlage verwendet. Anschliessend kann das kalibrierte Modell für weiter reichende Untersuchungen an reellen Stauseetopographien und Betriebsbedingungen im Prototypmassstab eingesetzt werden.

6 Zusammenfassung

Falls in einem Stauraum eingetragene Feinsedimente kontinuierlich über die Triebwasserfassung abgeführt werden können, wird die nachhaltige Nutzung erheblich verbessert, indem die Stauraumverlandung stark reduziert wird. Feinsedimente werden periodisch durch Trübestrome entlang dem Talweg bis zur Talsperre und den Auslassorganen transportiert. Ziel der Studie ist es durch optimale Anordnung der Wasserstrahlen eine ständige Durchmischung und Suspension der Feinsedimente im Bereich der Wasserfassung zu bewirken, so dass diese über das Triebwassersystem in einer zulässigen Konzentration abturbiniert werden. Die optimale Anordnung der Wasserstrahlen wird experimentell sowie mittels eines numerischen Modells untersucht und bestimmt.

Die Studie befasst sich ausschliesslich mit langen und tiefen Stauhaltungen wie sie in den Alpen vorkommen, wo die abgelagerten Sedimente im Bereich der Talsperre fein sind.

Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse der oben beschriebenen Massnahme wird Teil der Studie sein. Diese wird hauptsächlich aus einem Vergleich zwischen den Investitions- und Unterhaltskosten zur Erzeugung der Wasserstrahlen und den Ausgaben für konventionelle Entlandungsmethoden bestehen.

Eine Teilstudie bezüglich der Bestimmung der zulässigen Sedimentkonzentration zeigt, dass in Abhängigkeit der Abflussmenge im Unterwasser des Kraftwerks die ökologischen Belange die Abrasionsproblematik oftmals überwiegen. Die ökologischen Kriterien hängen stark von der bestehenden Biozönose ab und setzen gewässerspezifische Untersuchungen voraus.

Mit Hilfe der numerischen Simulationen wird eine Fallstudie durchgeführt werden, wobei die Funktionstüchtigkeit der gewählten Wasserstrahlanordnung überprüft und in die reelle Topographie mit den tatsächlich vorhandenen Beileitungen übertragen wird.

Referenzen

- Alam, S. (1999). "The influence and management of sediment at hydro projects", *Hydropower & Dams* 3:54-57.
- Bucher, R. (2002). "Feinsedimente in schweizerischen Fliessgewässern, Einfluss auf die Fischbestände". Fischnetz-Publikation, Projekt Fischrückgang Schweiz, Teilprojekt-Nr. 01/07, Eawag.
- Das, D. (2005). "Prospects and problems in hydropower development in India." Script of LCH-Conference.
- De Cesare, G. (1998), "Alluvionnement des retenues par courants de turbidité". Mitteilung Nr. 7, Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), EPFL, ISSN 1661-1179.
- Graf, W. H., (1984). "Storage losses in reservoirs", *International Water Power & Dam Construction* 36 (4): 37-40.
- Griffiths, W., and B. Walton., (1978). "The effects of sedimentation on the aquatic biota." Alberta Oil Sands Environmental Research Program, Report #35.
- Hotchkiss, R.H. and Huang, X. (1995). "Hydrosuction sediment-removal systems (HSRS): principles and field test". *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121(6), 479-489.
- Hotchkiss, R.H. and Huang, X. (1996). "Reservoir sediment management with hydrosuction sediment removal system part II: field test and implementation." *Reservoir Sedimentation, Proceedings of the St Petersburg Workshop*, S. Bruk and H. Zebidi, eds, IHP-V, Technical Documents in Hydrology No. 2, UNESCO, Paris, 224-249.
- Huwylar, P. (2002). "Möglichkeiten zur Feststoffevakuierung aus Stauseen durch die Triebwasserleitung", Technischer Bericht, Diplomarbeit des Nachdiplomstudiums in Hydraulischen Anlagen, EPFL-LCH, Zürich, Switzerland.
- International Committee on Large Dams (ICOLD), (1989). "Sedimentation control of reservoirs – Guidelines", Bulletin 67).
- Jacobsen, T. (1999). "Sustainable reservoir development: The challenge of reservoir sedimentation", *Conference Proceedings "Hydropower into the Next Century"*, Gmunden, Austria, 719-728.
- Krause, M. and Grein, H. (1993). "Abrasion, research and prevention", *Sulzer Technical Review* 2:30-36.
- Morris, G.L. and Fan J. (1997). "Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoir and Watersheds for Sustainable Use", McGraw-Hill, New York, 805 pp.
- Oehy, Ch. (2003). "Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents". Mitteilung Nr. 15, Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), EPFL, ISSN 1661-1179.
- Oehy, Ch.D. and Schleiss, A.J. (2007). "Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles". *J. Hydr. Engrg.* 133, 637-648.
- Raboud, P.-B. (2005). "Cadre légal dans le canton du Valais", Interreg IIIB – Projet Alpreserv, Nachhaltiges Sedimentmanagement in alpinen Speichern, Mitteilung Nr. 22, Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), EPFL, ISSN 1661-1179: 75-94.

- Robinson, K.M. (1981). "Reservoir Release Water Quality Improvement by Localized Destratification". National Technical Information Service, PB81-203145. Springfield, VA. 86 pp.
- Ryan, P. (1991). "Environmental effects of sediment in New Zealand streams: a review." *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 25: 207-221.
- Schleiss, A. und Oehy, C. (2002). "Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit", *Wasser, Energie, Luft*, Heft 7/8, 227-234.
- Schleiss, A., Feuz, B., Aemmer, M. and Zünd, B. (1996). "Verlandungsprobleme im Stausee Mauvoisin. Ausmass, Auswirkungen und mögliche Massnahmen", *Int. Symposium "Verlandung von Stauseen" – Mitteilungen VAW, Nr. 141, Teil 1, Zürich, Switzerland*, 37-58.
- Sinniger, R.O., De Cesare, G., Boillat, J.-L. (1999). "Propriété des alluvions récentes dans les retenues alpines", *Wasser, Energie, Luft*, Heft 9/10, 255-258.
- Staub, E. (2000). "Effects of sediment flushing on fish and invertebrates in Swiss alpine rivers." *Toyama, International Workshop and Symposium on Reservoir Sedimentation Management*, 185-194.
- Varma, C.V.J., Naidu, B.S.K. and Rao, A.R.G. (2000). "Siltng problems in hydro power plants", A. A. Balkema, Rotterdam.
- Walling, E.E. (1997). "The response of sediment yields to environmental change." *Human impact on erosion and sedimentation* 245: 77-89.
- Wasewar, K.L. (2006). "A design of jet mixed tank", *Chem. Biochem. Eng. Q.*, Vol. 20, No.1, 31-46.

Adresse der Autoren

dipl. Bau-Ing. ETH/SIA Jolanda Jenzer Althaus
École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH)
Station 18
CH-1015 Lausanne
E-Mail: jolanda.jenzer@epfl.ch



dipl. Bau-Ing. ETH Dr. Giovanni de Cesare
École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH)
Station 18
CH-1015 Lausanne
E-Mail: giovanni.decesare@epfl.ch



dipl. Bau-Ing. ETH/SIA Prof. Dr. Anton Schleiss
Dipl. Bau-Ing. ETH/SIA
École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH)
Station 18
CH-1015 Lausanne
E-Mail: anton.schleiss@epfl.ch

